This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.
+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.
+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.
+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

A propos de ce livre

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

Consignes d'utilisation

Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

Nous vous demandons également de:

+ *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.

+ *Ne pas procéder à des requêtes automatisées* N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.

+ *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.

+ *Rester dans la légalité* Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

À propos du service Google Recherche de Livres

En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le français, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse `http://books.google.com`

TR
525
.B51

A 817,961

BIBLIOTHÈQUE PHOTOGRAPHIQUE

PHOTOGRAPHIE
DES
COULEURS

PAR LA MÉTHODE INTERFÉRENTIELLE DE M. LIPPMANN.

PAR

Alphonse BERGET,

Docteur ès Sciences,
Attaché au Laboratoire des Recherches (Physique)
de la Sorbonne.

PARIS,
GAUTHIER-VILLARS ET FILS, IMPRIMEURS-LIBRAIRES
ÉDITEURS DE LA BIBLIOTHÈQUE PHOTOGRAPHIQUE,
55, Quai des Grands-Augustins.

1891

GENERAL LIBRARY
UNIVERSITY OF MICHIGAN
ARTES · SCIENTIA · VERITAS
1817

PHOTOGRAPHIE

DES

COULEURS.

Paris. — Imp. Gauthier-Villars et fils, 55, quai des Grands-Augustins.

BIBLIOTHÈQUE PHOTOGRAPHIQUE

PHOTOGRAPHIE

DES

COULEURS

PAR LA MÉTHODE INTERFÉRENTIELLE DE M. LIPPMANN.

PAR

Alphonse BERGET,

Docteur ès Sciences,
Attaché au Laboratoire des Recherches (Physique)
de la Sorbonne.

PARIS,
GAUTHIER-VILLARS ET FILS, IMPRIMEURS-LIBRAIRES
ÉDITEURS DE LA BIBLIOTHÈQUE PHOTOGRAPHIQUE,
55, Quai des Grands-Augustins.

1891

(Tous droits réservés.

TP
525
.D51

Epstein 1377

Epstein Gift
9-23-41

AVANT-PROPOS.

Une découverte capitale vient d'être faite, qui comble une lacune profonde dans l'art de la Photographie et résout enfin le problème tant cherché depuis si longtemps. M. Lippmann, membre de l'Institut, vient de découvrir le moyen de fixer photographiquement et d'une façon inaltérable les couleurs du spectre solaire.

La méthode suivie par l'éminent professeur n'a rien de commun avec les essais photochromiques tentés jusqu'à présent; elle est tellement ingénieuse, tellement élégante dans sa géniale simplicité, qu'elle constitue incontestablement une œuvre scientifique plus belle encore que le résultat obtenu. Mais elle s'appuie sur des considérations de Physique supérieure qui supposent des connaissances acquises

en ce qui concerne la théorie ondulatoire de la lumière.

Ce petit livre a précisément pour but, en rappelant ces notions, de rendre intelligible le procédé nouveau, et de faire comprendre sa valeur en permettant d'en saisir le mécanisme intime.

A. BERGET.

Paris, 6 février 1891.

PHOTOGRAPHIE

DES

COULEURS.

CHAPITRE I.

UN MOT D'HISTORIQUE.

Notre intention n'est pas ici de rappeler en détail toutes les tentatives faites en vue de fixer photographiquement les couleurs des objets sur des couches sensibles. Il y aurait un long et intéressant Ouvrage à écrire sur ce sujet. Il est néanmoins impossible de passer sous silence quelques noms illustres qui marquent les étapes de cette difficile carrière.

Déjà en 1810, Seebeck, professeur à Iéna, avait abordé la question et essayé d'impressionner, à l'aide d'un spectre solaire, un papier recouvert

d'une couche de chlorure d'argent. Ses expériences eurent peu de retentissement et il faut arriver jusqu'en 1841 pour les voir reprises sérieusement par John Herschel, qui mit en œuvre non seulement le chlorure d'argent, mais encore le bromure et l'iodure du même métal, ainsi que des produits naturels tels que la racine de gaïac. Certaines couleurs semblèrent, bien que passagèrement, se dessiner sur ses papiers sensibles. C'étaient déjà des résultats de nature à encourager les chercheurs, étant donné que l'on était alors au début de la Photographie; mais ces résultats furent bien dépassés par ceux de M. Edmond Becquerel.

En 1848, ce savant réussit, en employant une lame de plaqué d'argent recouverte d'une couche de sous-chlorure d'argent violet, à obtenir sur cette couche l'impression de toutes les couleurs du spectre solaire. Malheureusement, les couleurs ainsi réalisées s'effaçaient si l'on exposait le cliché à la lumière; essayait-on de le fixer dans un bain fixateur quelconque? toute coloration disparaissait.

L'impression de toutes les couleurs spectrales était un grand pas fait en avant; mais les insuccès au point de vue du fixage, insuccès que n'avaient pu surmonter la science et l'habileté expérimentale de M. Edmond Becquerel, étaient l'obstacle auquel devaient désormais se heurter tous ceux qui abordèrent la Photochromie par la méthode de l'impression directe.

De 1851 à 1866, Niepce de Saint-Victor effectua de nombreux et remarquables essais en vue de fixer les couleurs, à l'aide d'une substance chimique; en 1855, Testud de Beauregard arriva aussi à des résultats intéressants; enfin, en 1865, Poitevin indiqua un procédé photochromique sur papier, dont nous avons encore pu voir pendant quelques instants des épreuves soigneusement conservées à l'abri de la lumière; car, comme tous ses prédécesseurs, Poitevin n'a jamais pu arriver à fixer ses épreuves.

Tous les essais précédents, et beaucoup d'autres encore, étaient faits par la *méthode chimique :* on cherchait toujours des substances susceptibles de s'impressionner chromatiquement sous l'influence des couleurs correspondantes; *à priori,* ce problème est irréalisable.

Les procédés analogues à celui de Ch. Cros, reproduisant les couleurs par des tirages superposés, ne sont pas des méthodes directes, aussi n'ai-je pas à m'y étendre.

En somme, si les essais antérieurs ont été suivis d'insuccès au point de vue de la fixation des épreuves obtenues, c'est que la question n'avait pas été abordée sous son véritable aspect.

La Physique nous enseigne, en effet, que les couleurs sont le résultat d'un mouvement vibratoire. La preuve en est dans les magnifiques teintes des bulles de savon, produites dans l'épaisseur

d'une lamelle liquide parfaitement incolore par elle-même, grâce à un mécanisme que nous verrons plus loin. La solution la plus rationnelle consistait donc à chercher si, dans les propriétés des mouvements vibratoires que l'on étudie en Optique, il ne serait pas possible de retrouver celle qui produit sur notre rétine la sensation de la couleur.

C'est ce qu'a fait M. Lippmann.

Nous allons, avant d'exposer ses expériences décisives, rappeler dans les Chapitres suivants les points essentiels de la théorie des ondulations lumineuses qu'il est indispensable de connaître pour l'intelligence de la nouvelle découverte.

CHAPITRE II.

LES ONDULATIONS.

Vitesse de propagation.

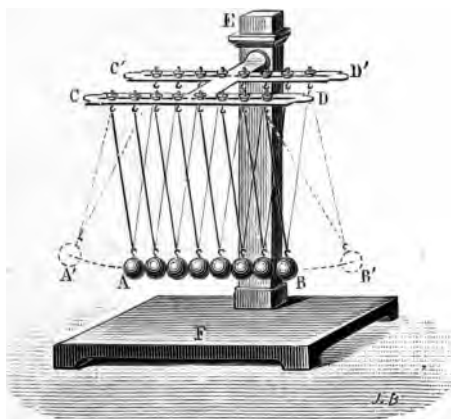
Tout le monde a remarqué ces stries circulaires concentriques qui se forment à la surface d'une eau tranquille dans laquelle on a laissé tomber un caillou : elles semblent sortir de leur centre commun et se propagent lentement en produisant des rides sur le contour desquelles l'eau est alternativement soulevée et déprimée. La distance parcourue par ces *ondes liquides* pendant l'unité de temps se nomme *la vitesse de propagation* du mouvement ondulatoire. Cette vitesse, d'ailleurs, dépend uniquement de la nature du milieu.

Il ne faut pas croire que l'eau soit *transportée* dans le sens de la propagation des ondes : il est facile de s'en rendre compte en faisant flotter à la

surface une petite parcelle de bois, qui s'abaisse et s'élève alternativement, mais n'est animée d'aucun mouvement de translation.

Il faut donc admettre, pour expliquer ces ondu-

Fig. 1.



lations, que les molécules susceptibles de les transmettre, sont pourvues d'élasticité comme les billes d'ivoire de l'appareil représenté sur la *fig.* 1. Si l'une de ces billes, parfaitement élastique, reçoit un choc de la précédente, elle transmet à la suivante la totalité du mouvement reçu; de sorte que, si l'on écarte la première bille A jusqu'en A′ et qu'on la laisse retomber, on n'aura pas, comme on pourrait tout d'abord s'y attendre, l'ensemble

des billes en repos poussé vers la droite : ce sera la dernière bille B qui sera seule poussée. Le mouvement s'est donc propagé de proche en proche de la première à la dernière, sans que les billes intermédiaires aient fait autre chose que transmettre ce mouvement.

Les molécules d'un corps quelconque se comportent comme les billes d'ivoire de notre expérience : elles reçoivent un mouvement de la molécule précédente et le transmettent intégralement à la molécule suivante, tout en restant séparément immobiles ; de sorte que tout ébranlement affectant une molécule d'un milieu élastique se transmettra aux molécules contiguës à la première ; celles-ci le transmettront à celles qui les suivent, et ainsi de suite.

Mouvements vibratoires.

Parmi les divers ébranlements qui peuvent être produits dans un milieu donné, il en est qui sont plus intéressants que les autres : ce sont ceux qui sont périodiques, c'est-à-dire qui se reproduisent de la même façon après des intervalles de temps égaux.

Une lame d'acier pincée dans un étau par une de ses extrémités en offre un exemple : quand on écarte l'extrémité libre de la position qu'elle occupe au repos, elle tend à y revenir en exécutant

une série d'oscillations qui durent sensiblement le même temps. En un mot, la lame *vibre*.

On conçoit que si une pareille lame est placée au-dessus de la surface d'un liquide de façon qu'elle vienne en toucher un point, toujours le même, à chacune de ses oscillations, les ondes se produiront autour de ce point sans interruption, et le mouvement ondulatoire sera continu comme dans le premier cas, avec cette différence que, dans le cas d'un seul ébranlement, les vibrations d'un point du milieu, tout en gardant la même durée, ont des *amplitudes* qui vont en décroissant sans cesse, tandis que, si l'ébranlement se répète périodiquement, elles conservent toujours leur amplitude première : le mouvement ondulatoire représente alors un phénomène dont l'*intensité reste constante*.

Longueur d'onde. Durée de la vibration.

Nous avons vu que tout mouvement ondulatoire se transmettait dans un milieu déterminé avec une vitesse constante que l'on appelle sa vitesse de propagation : c'est l'espace parcouru par l'onde pendant l'unité de temps.

Quand les ondes proviennent d'un mouvement vibratoire, il y a une longueur encore plus intéressante à considérer : c'est la longueur du chemin parcouru par l'onde, non plus pendant l'unité de temps, mais pendant la durée d'une vibration :

cette longueur se nomme la *longueur d'onde,* et c'est elle qui joue dans l'étude des phénomènes physiques le rôle le plus important.

Il résulte de là que la vitesse de propagation peut être envisagée à deux points de vue : ou bien ce sera le chemin parcouru par l'onde pendant l'unité de temps, pendant une seconde, par exemple; ou bien ce sera l'espace parcouru par cette même onde pendant le temps que met une oscillation du corps vibrant à s'effectuer complètement.

Ondes sonores.

C'est par le mécanisme précédent que se transmet le son, qui est le résultat d'un mouvement vibratoire.

Tout corps vibrant émet un son, que ce corps soit un solide comme l'acier, un liquide comme le mercure, un gaz comme l'air; et réciproquement, à tout son correspond un mouvement vibratoire situé quelque part. Aussi l'étude des propriétés des sons constitue-t-elle la manière la plus simple et la plus démonstrative d'étudier les ondulations.

Le corps sonore M (*fig.* 2) étant un centre de vibrations, devient aussi un centre d'ondulations. Si le milieu propagateur est homogène, les ondes sont sphériques; au bout d'un certain temps, le mouvement vibratoire s'est propagé jusqu'en tous les points de la surface d'une sphère ABC. Chacun

de ces points devient à son tour, à chaque instant, un centre d'oscillations, et émet une onde également sphérique. Ces nouvelles ondes, A′, B′, C′, sont égales entre elles, et ont pour *enveloppe* une sphère plus grande que l'on voit dessinée sur la

Fig. 2.

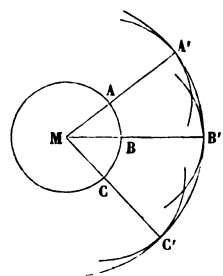
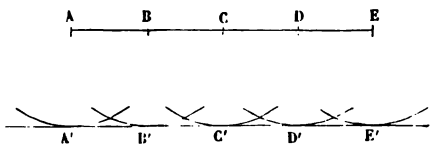


figure : c'est sur cette sphère que le son arrive au bout d'un temps donné.

Mais nous n'aurons pas toujours à considérer comme source vibrante un point unique. Ce cas hypothétique n'est même jamais réalisé dans la pratique, les points matériels ayant toujours des dimensions appréciables. Supposons donc que le corps vibrant soit un *plan,* c'est-à-dire que l'on ébranle à la fois une série de points A, B, C, D, E, (*fig.* 3), situés sur une même surface plane et en ligne droite. Chacun d'eux étant un centre d'ébranlement devient le centre d'une onde sphérique,

mais toutes ces ondes sphériques, étant égales et très rapprochées, auront le même rayon au bout du même temps; elles auront donc pour *enveloppe* le

Fig. 3.



plan A'B'C'D'E' qui touche toutes les sphères d'onde. En un mot, l'onde se propage comme si sa surface était elle-même un plan.

CHAPITRE III.

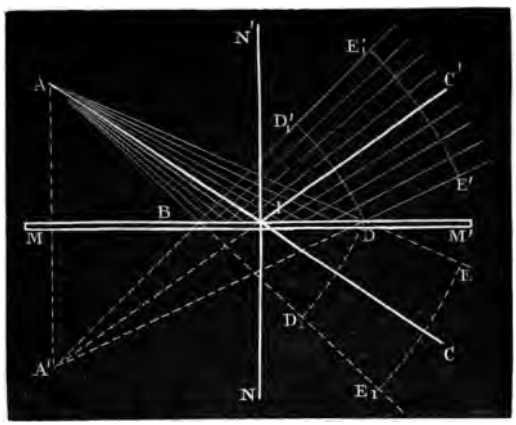
LES INTERFÉRENCES.

Réflexion du mouvement ondulatoire.

Imaginons une onde, ayant pour origine un centre d'ébranlement A (*fig.* 4). Si cette onde se propageait librement, le mouvement vibratoire, au bout d'un certain temps, serait arrivé à la surface d'une sphère DD_1 ; plus tard il serait sur une sphère de rayon plus grand EE_1, et ainsi de suite ; mais il n'en est plus de même si l'onde, en se propageant, vient à rencontrer un obstacle fixe MM′ (une surface plane par exemple, comme la face réfléchissante d'un miroir poli). Dans ce cas, l'onde change sa direction de propagation : elle se *réfléchit,* et au bout du temps où le mouvement serait primitivement arrivé en DD_1, il arrive en tous les points d'une sphère DD'_1, symétrique de la première par

rapport au plan du miroir; en d'autres termes, tout se passe comme si le centre d'ébranlement, au lieu d'être en A, était situé en un point A',

Fig. 4.



situé de l'autre côté du plan MM' à la même distance que le point A. Cette nouvelle onde n'existe pas tout entière réellement : il n'y a que la portion déviée par le miroir qui ait une existence réelle; on la nomme l'*onde réfléchie,* tandis que la première se nomme l'*onde directe.*

En particulier, on peut faire réfléchir une onde plane sur un obstacle plan. Dans ce cas, la direction de propagation de l'onde directe et la direction de propagation de l'onde réfléchie font avec le miroir des angles égaux, absolument comme la bille

de billard, après avoir frappé la bande, se réfléchit en faisant un *angle de réflexion égal à l'angle d'incidence.*

Interférence de l'onde directe et de l'onde réfléchie.

Nous pouvons, en particulier, faire tomber l'onde incidente, une onde sonore, par exemple, perpendiculairement à la surface réfléchissante. Dans ce cas, l'onde réfléchie suit exactement la route inverse, et croise, en revenant, l'onde incidente qui arrive sur le miroir. Que va-t-il alors se passer?

N'oublions pas que chaque point du milieu situé en avant du miroir participe au mouvement ondulatoire et vibre en exécutant des oscillations autour de sa position d'équilibre. Dès lors, un point quelconque se trouvera sollicité à la fois par deux mouvements ondulatoires : le mouvement direct et le mouvement réfléchi. Si ce point est dans des conditions telles que les deux vitesses qui le sollicitent du fait de ces deux mouvements aient, à un instant donné, la même direction, ces vitesses s'ajouteront l'une à l'autre et il en résultera un accroissement dans la vibration propre du point considéré; mais si ces deux vitesses sont, au même instant, égales et de sens contraires, les deux mouvements s'annuleront, et le point considéré restera en repos. Si c'est d'une onde sonore qu'il s'agit,

il y aura en ce point extinction de tout bruit : il y aura silence.

L'étude des mouvements vibratoires conduit donc à cette conséquence remarquable que du son ajouté à du son peut produire, tantôt une duplication du mouvement sonore, tantôt une annulation de ce mouvement. Une expérience célèbre, faite par le colonel Napoléon Savart en 1839, a apporté à cet énoncé une éclatante confirmation expérimentale. En avant d'un grand mur, cet officier avait placé un timbre qu'il faisait vibrer en le frappant avec un marteau. Le timbre devenait le centre d'une onde directe qui se propageait jusqu'au mur et s'y réfléchissait. Or, en promenant l'oreille sur la ligne droite allant du timbre à la muraille, il constata l'existence de points équidistants auxquels le son s'éteignait complètement, ces points étant séparés par d'autres, également équidistants, où le son était énergiquement renforcé. L'existence des interférences est donc démontrée d'une façon irréfutable.

L'étude des tuyaux sonores, comme les tuyaux d'orgue, et celle de la vibration des cordes de violon, montre bien aussi qu'il y a des points où la vibration est nulle, où le mouvement est éteint, tandis qu'en d'autres points il est renforcé. Les premiers s'appellent des *nœuds* et les seconds des *ventres*.

Nous dirons donc qu'en avant d'une surface

plane sur laquelle vient tomber une onde plane, il y a une série de plans équidistants, dans lesquels tout mouvement est éteint : ce sont les plans *nodaux,* ces plans sont séparés par des plans parallèles où le mouvement est renforcé : ce sont les plans *ventraux. La distance entre deux plans nodaux consécutifs ou entre deux plans ventraux consécutifs est toujours égale à une demi-longueur d'onde.*

CHAPITRE IV.

LES ONDES LUMINEUSES.

L'éther lumineux.

Les principes précédents ont une vérification continuelle dans l'étude des phénomènes sonores qui constitue la partie de la Physique appelée *Acoustique*. L'honneur de donner la première théorie rationnelle de la lumière, en la considérant comme résultat d'un mouvement ondulatoire, était réservé à un savant français : *Fresnel.*

Par une conception de génie, l'illustre physicien imagina que tout point lumineux était un centre de vibrations très rapides, et que ces vibrations se transmettaient à travers un milieu spécial. Ce milieu ne devait pas être un gaz, puisque la lumière se transmet sans le vide. Fresnel lui a donné le nom d'*éther,* et a admis qu'il remplissait tout,

même les espaces interplanétaires. Les molécules de ce milieu, douées d'une élasticité parfaite, jouent dans cette hypothèse le rôle des billes d'ivoire de l'expérience que nous avons faite en commençant cet exposé ; elles se transmettent de l'une à l'autre, sans néanmoins bouger de leurs places respectives, l'impulsion reçue par la première d'entre elles.

Vitesse de la lumière.

Cette transmission du mouvement vibratoire, de molécule à molécule, se fait dans l'éther avec une vitesse considérable.

On a pu mesurer par des expériences directes, les unes touchant à l'Astronomie, les autres à la Physique pure, la vitesse avec laquelle se propage une onde lumineuse ; toutes les expériences ont été sensiblement d'accord et ont donné le résultat suivant :

La lumière se propage avec une vitesse de TROIS CENT MILLE *kilomètres par seconde.*

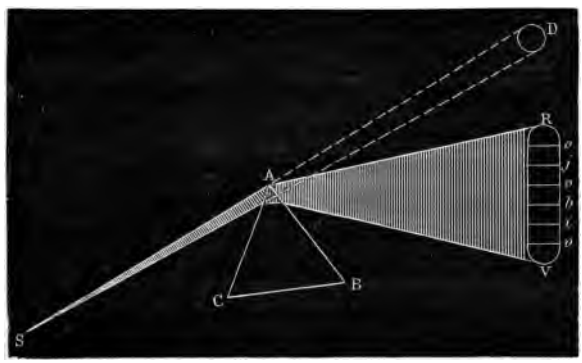
Ainsi, pour donner une idée de la rapidité de cette transmission, nous dirons qu'un rayon lumineux met *huit minutes* à franchir la distance qui sépare la Terre du Soleil. Puisque, d'ailleurs, nous avons admis que la lumière avait pour origine un mouvement vibratoire, ce mouvement se transmettra dans l'éther, par ondulations, comme le son dans l'air. Chaque onde est une sphère, qui

augmente rapidement de diamètre, comme un ballon qui se gonflerait assez vite pour que son rayon s'accrût de 300000 kilomètres par seconde. A une distance infinie de son point de départ, une petite portion de cette surface sphérique est sensiblement plane.

Lumière blanche. Couleurs simples.

C'est Newton qui a découvert la complexité de

Fig. 5.



la lumière blanche, en instituant l'expérience classique du spectre solaire.

Par une ouverture très petite, S (*fig.* 5), il fit pénétrer dans une chambre obscure un rayon horizontal de lumière solaire. Ce rayon, si on l'avait laissé cheminer librement, aurait été dessiner sur

un écran une image brillante et ronde, D. Newton plaçait sur son chemin un prisme de verre à arêtes verticales, dans la position indiquée par la figure. Aussitôt le faisceau incident était dévié de sa direction première. En même temps il s'étalait et venait former sur l'écran, non plus une image ronde, mais une bande allongée qui présentait toutes les couleurs de l'arc-en-ciel, rangées dans l'ordre suivant :

Violet, indigo, bleu, vert, jaune, orangé, rouge.

Le violet est la couleur la plus déviée, et se trouve à l'une des extrémités de ce *spectre* coloré, tandis que le rouge, moins dévié que les autres, se trouve à l'autre extrémité.

La lumière blanche était donc décomposée par un prisme en *couleurs simples*.

En recevant ce spectre sur un miroir tournant lentement et en regardant ce miroir dans une direction fixe, Newton voyait successivement toutes les couleurs du spectre ; mais si la vitesse du miroir s'accélérait, l'œil voyait toutes les couleurs simultanément, et de cette superposition des impressions résultait la sensation de la lumière blanche. Il avait donc reconstitué, par une expérience inverse, la lumière blanche à l'aide des couleurs simples.

Couleurs complémentaires.

Cachons, à l'aide d'un obstacle opaque, une partie des rayons du spectre, et examinons les teintes restantes à l'aide du miroir tournant animé d'un rapide mouvement : il nous manque des couleurs ; nous n'aurons donc plus de blanc, mais une certaine couleur A. Faisons la même expérience, mais cette fois en cachant les couleurs précédemment examinées, et en examinant au miroir celles que nous avions cachées tout à l'heure ; nous aurons une autre couleur résultante B.

Évidemment les couleurs A et B, mélangées ensemble, reproduiraient de la lumière blanche : on les appelle *couleurs complémentaires*.

Théorie de Fresnel.

Comment expliquer, dans la théorie des ondulations, les différences de coloration des diverses parties du spectre ?

Fresnel a réussi à trouver cette explication, en assimilant les couleurs simples aux notes musicales de la gamme.

Nous avons vu que tout son était produit par un corps vibrant, engendrant une onde qui arrivait jusqu'à notre oreille pour y produire la sensation sonore. Mais tous les sons ne sont pas identiques,

et nous savons très bien distinguer une note *aig* d'une note *grave*. Les physiciens ont étudié caractère d'acuité et de gravité des divers sons, sont arrivés à cette conclusion expérimentale q les sons émis par un même corps vibrant étaie d'autant plus élevés que les vibrations étaient p rapides, quelle que soit la nature du corps vibra A chaque son correspond donc une longueur d'on qui lui est propre.

Mais alors, direz-vous, les sons aigus se trai mettent plus vite, dans l'air, que les sons grave

Point du tout, ils parcourent plus vite la d tance qui sépare un nœud d'un autre nœud ; m comme ces nœuds sont plus nombreux, l'espa total parcouru par un son, quelle que soit sa ha teur, pendant une seconde, est toujours le mêm la vitesse du son dans l'air est 330 mètres p seconde.

Nous en avons, du reste, une preuve matérie toutes les fois que nous écoutons un orchestre distance, la mélodie et l'harmonie nous arrivent nous donnent, à l'intensité près, la sensation exac du morceau exécuté. Cela n'aurait pas lieu si l sons aigus des violons et des flûtes cheminaie plus vite que les sons graves des violoncelles des contre-basses, et, au lieu d'une sensatic agréable, nous n'entendrions plus qu'une épouv table cacophonie dont les désagréments croîtrai avec la distance.

Fresnel a assimilé les couleurs simples aux sons simples.

Il a admis que le nombre des vibrations effectuées pendant une seconde par un point lumineux qui émet de la lumière *rouge* n'était pas le même que celui qui correspond à la lumière jaune. Il en résulte, inversement, que la *longueur d'onde* sera différente pour ces différentes couleurs. Le Tableau suivant donne les nombres de vibrations effectuées en une seconde par un point lumineux émettant les diverses couleurs.

1. — *Nombres de vibrations correspondant aux diverses couleurs :*

Rouge.....	497	milliards par	seconde.
Orangé.....	528	»	»
Jaune.....	529	»	»
Vert.....	601	»	»
Bleu.....	648	»	»
Indigo.....	686	»	»
Violet.....	728	»	»

Voici maintenant le Tableau qui donne les longueurs d'onde correspondant aux diverses couleurs simples :

2. — *Longueurs d'onde des couleurs simples.*

Rouge....	620	dix-millièmes de	millimètre.
Orangé...	583	»	»

Jaune....	551	dix-millièmes	de millimètre.
Vert.....	512	»	»
Bleu.....	475	»	»
Indigo....	449	»	»
Violet ...	423	»	»

Le rouge correspond donc aux notes graves l'échelle musicale, et le violet aux notes aiguës.

Les couleurs complexes.

Comment expliquer maintenant les coulei complexes, non plus celles du spectre qui sc simples, mais celles des corps naturels?

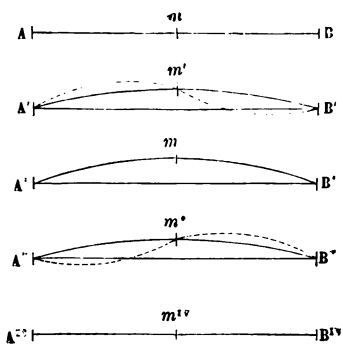
Nous aurons encore recours aux propriétés c mouvements vibratoires, et une comparaison av les phénomènes sonores nous rendra plus facil saisir la théorie des couleurs.

Plusieurs mouvements vibratoires peuvent superposer l'un à l'autre. Ainsi, quand une cor est tendue sur une caisse sonore, comme la cor d'un violoncelle, on peut la faire vibrer tout e tière. Ses deux extrémités seront immobiles, ; ront deux nœuds, tandis que son milieu vibr avec l'amplitude maxima : ce sera un *ventre*. M on peut attaquer cette corde avec l'archet de m nière que, tout en vibrant dans son ensemb chacune de ses moitiés vibre individuellement, s vant les contours ponctués représentés par la *fig*. Dans ces conditions, nous réalisons la superpositi

de deux mouvements vibratoires : celui de la corde entière et celui de ses deux moitiés vibrant isolément. Il en résulte un son complexe, formé du son fondamental et de son harmonique superposé ; c'est cette superposition qui donne à l'oreille les sensations du *timbre* des différents sons.

Le *phonographe* est un instrument basé sur ce

Fig. 6.



principe : les vibrations d'une seule membrane peuvent reproduire plusieurs mouvements vibratoires superposés, rendre la parole humaine et l'enregistrer par un gaufrage piqué sur un cylindre malléable.

Les couleurs complexes, telles que le marron, les différentes nuances de vert, etc., s'expliquent par un mécanisme analogue. Elles résultent de la superposition de plusieurs mouvements vibratoires simples.

Coloration des corps.

Disons à ce propos ce qu'on entend par *couleur* des corps.

La couleur résulte de la diffusion des rayons qui éclairent un corps. Ce corps en absorbe quelques-uns et en réfléchit d'autres dont le mélange produit sur l'œil l'expression d'une teinte déterminée. Une tapisserie nous paraît rouge parce qu'elle réfléchit surtout la lumière rouge et qu'elle absorbe les autres couleurs.

Les corps qui réfléchissent tous les rayons solaires, quels qu'ils soient, nous paraissent blancs; ceux qui les absorbent tous, au contraire, nous semblent noirs.

Il est évident, d'après cela, que la couleur apparente d'un corps pour notre œil doit varier avec la nature de la lumière qui l'éclaire; elle n'est pas la même au jour ou à la lumière électrique, qui sont des lumières blanches contenant tous les rayons, qu'à la lumière exclusivement jaune du gaz. Avec une lumière monochromatique, elle a forcément la teinte même de cette lumière.

CHAPITRE V.

INTERFÉRENCES DE LA LUMIÈRE.

Expérience des deux miroirs.

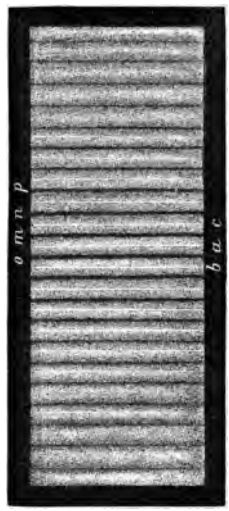
Fresnel avait envisagé les phénomènes lumineux comme étant produits par des vibrations. La lumière doit donc présenter les particularités de tous les mouvements ondulatoires, et il doit être possible de produire des interférences avec deux ondes lumineuses.

A cet effet, on prend deux miroirs faisant entre eux un très petit angle : un point lumineux placé en avant donne, en arrière de ces miroirs, deux images très rapprochées, qui peuvent être considérées chacune comme le centre d'une onde distincte.

Si ces ondes, arrivant en un point, sont telles qu'elles aient parcouru des chemins différents et que

leur différence de marche soit, ou une demi-longueur d'onde, ou un nombre impair de demi-longueurs d'onde, ce point aura au même instant deux vitesses égales et de signes contraires : il y aura

Fig. 7.



donc annulation du mouvement vibratoire, c'est-à-dire obscurité. Il y aura, au contraire, redoublement de lumière en tous les points où les deux ondes auront, ou parcouru le même chemin, ou parcouru des chemins dont la différence est un nombre entier de longueurs d'onde.

Si l'on a eu soin d'opérer avec une lumièr

parfaitement monochromatique, on aura donc, sur un écran placé en face des deux miroirs, une série de franges, alternativement brillantes et obscures, parallèles à l'intersection des deux miroirs, comme le représente la *fig.* 7.

Si nous avons opéré avec de la lumière jaune et que nous la remplacions par de la lumière plus réfrangible, de la lumière violette par exemple, les franges sembleront se resserrer les unes vers les autres.

Si enfin nous employons de la lumière blanche, l'effet produit sera la résultante des effets partiels que l'on obtiendrait avec chacune des couleurs simples séparément : on aura donc des franges irisées, présentant les différentes couleurs du spectre.

Interférences dans la réflexion normale.

L'expérience précédente est très brillante et facile à répéter : elle nous prouve nettement l'existence des interférences lumineuses. Nous pouvons donc être certains que, quand une onde directe et une onde réfléchie se rencontreront, elles pourront et devront interférer.

En particulier, et ceci est d'une importance capitale pour le sujet qui nous occupe, quand on fait tomber de la lumière perpendiculairement à la surface d'un miroir plan, l'onde réfléchie interférera avec l'onde directe, en donnant naissance,

en avant du miroir, à une série de plans parallèles, alternativement brillants et obscurs : les plans obscurs correspondent aux interférences, et la vibration lumineuse y est éteinte ; elle est, au contraire, doublée dans les plans lumineux. Deux plans obscurs consécutifs (deux plans *nodaux,* comme on dit en Physique) sont séparés l'un de l'autre par un intervalle d'une demi-longueur d'onde. Il en est de même de deux plans *ventraux* consécutifs.

Ce phénomène se produit toutes les fois qu'une onde se réfléchit sur un miroir, nous allons voir ce qui a lieu quand la lumière rencontre une lame mince.

Anneaux colorés de Newton.

Les interférences vont maintenant nous servir à expliquer l'un des phénomènes naturels les plus intéressants : je veux parler des couleurs que présentent les lames minces.

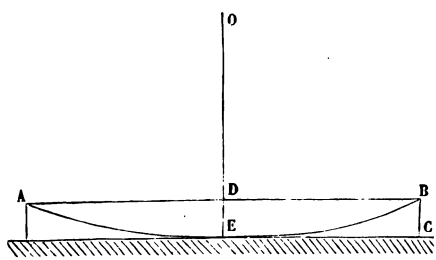
Tout le monde a remarqué ces teintes merveilleusement pures que présentent les bulles de savon. En les examinant, on y reconnaît aisément les teintes simples du spectre. Malheureusement elles se prêtent mal à l'étude, à cause de leur caractère fugitif et changeant.

Le génie de Newton avait pressenti la cause du phénomène : l'illustre physicien la voyait dans la minceur même de la lamelle liquide qui forme la

bulle. Il imagina alors de reproduire le phénomène avec plus de régularité, et voici le dispositif qu'il a adopté.

Sur une lame de glace rigoureusement plane (*fig.* 8), on pose par sa face sphérique une lentille plan-convexe ADBE, qui touche par un seul

Fig. 8.



point, le point E, la glace de verre. A partir de ce point, les deux lames sont séparées par une tranche d'air d'autant plus épaisse qu'elle est plus éloignée du point de contact.

Dans ces conditions, voici ce que l'on observe :

Si l'on éclaire ce système des deux verres ainsi superposés par de la lumière monochromatique (telle que la lumière jaune qui résulte de la combustion d'une lampe à alcool salé), on voit *par réflexion* une tache noire centrale entourée d'anneaux concentriques, alternativement brillants et obscurs. Ces anneaux ne sont pas équidistants :

ils se resserrent d'autant plus qu'ils sont plus él gnés du centre noir correspondant au point de cc tact des deux verres.

En employant une lumière de nature différen on voit le diamètre des anneaux augmenter diminuer suivant que la longueur d'onde de lumière employée est plus grande ou plus peti

Il résulte de là que si l'on éclaire l'appareil a de la lumière blanche, on aura la superpositi des effets obtenus avec les diverses lumières simpl Les couleurs ne coïncident pas ; par conséquent n'aura pas un système d'anneaux alternativem noirs et blancs : on aura des anneaux irisés des cc leurs de l'arc-en-ciel, absolument comme le sc les franges d'interférences dans les miroirs Fresnel quand on emploie la lumière blanche.

Mais ce n'est pas tout. Au lieu de regarder système de nos deux verres *par réflexion,* no pouvons le regarder *par transparence,* c'e à-dire l'interposer entre notre œil et la lumi diffuse. Dans ce cas, on observe encore des a neaux, seulement ils sont inverses des précédent là où il y avait un anneau blanc nous observons anneau obscur et réciproquement. Par exemp le centre qui était obscur et formait une tac noire quand on regardait le système par réflexi devient brillant quand on l'observe par transp rence, et, si l'on se sert de lumière blanche, l anneaux que l'on observe de la seconde manièr

ont exactement les couleurs *complémentaires* de ceux que l'on avait observés en premier lieu.

Lois du phénoméne.

Newton a étudié de plus près cette admirable expérience.

Il plaçait son œil en O, sur la verticale ODE,

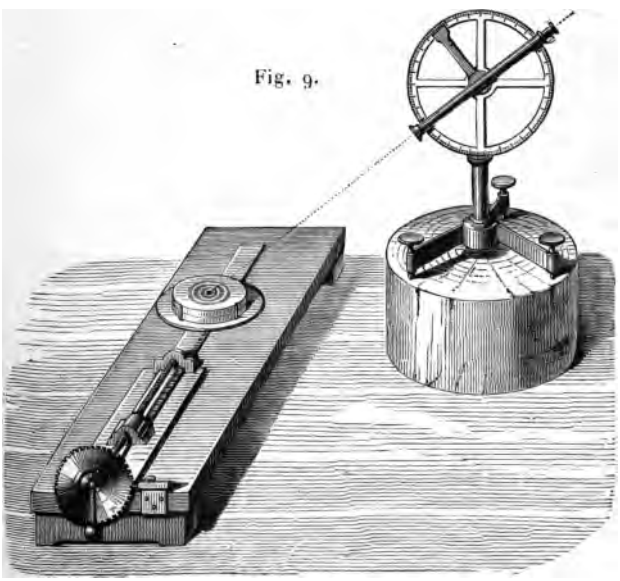


Fig. 9.

et prenait avec un compas les diamètres successifs des divers anneaux : l'écartement des branches

du compas était ensuite mesuré à l'aide d'u règle divisée.

Deux savants français, de la Provostaye et I sains ont réalisé, pour étudier les anneaux Newton, un appareil très précis que représente *fig.* 9.

Le système des deux verres, lentille et glace, voit sur la figure avec les anneaux qui s'y produis et que l'on peut observer plus commodémen l'aide d'une lunette. Les deux verres sont por sur un chariot mobile que l'on peut faire mouv le long d'une règle divisée à l'aide d'une vis mic métrique qui lui imprime des déplacements au petits que l'on veut, et connus très exactement. éclaire le tout avec de la lumière jaune.

En mesurant ainsi avec le plus grand soin diamètres successifs des divers anneaux, on a énoncer la loi suivante :

Les épaisseurs des anneaux obscurs sont éga aux multiples pairs successifs du quart de longueur d'onde de la lumière employée. Les épaisseurs des anneaux brillants sont éga aux multiples impairs de la même quantité.

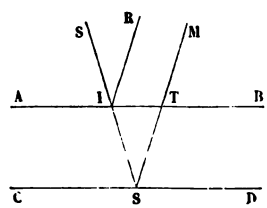
Théorie des anneaux de Newton.

Il y a donc une relation entre les propriétés anneaux et la longueur d'onde. Les propriétés

interférences vont maintenant nous permettre d'expliquer le phénomène.

Représentons-nous une lame mince transparente, ABCD (*fig.* 10) limitée par deux surfaces très voisines AB et CD : par exemple une tranche d'air comprise entre deux lames de verre. Lançons sur

Fig. 10.



l'appareil un rayon lumineux SI : avant de continuer son chemin à travers la tranche d'air, une portion de ce rayon se réfléchira sur la première lame de verre, suivant IR ; l'autre portion arrivera jusqu'à la seconde lame, CD, sur laquelle elle se réfléchira suivant STM.

Les deux rayons réfléchis IR et TM vont donc avoir parcouru des chemins différents : le second aura parcouru, en plus du chemin parcouru par le premier, la ligne brisée IST ; *il sera donc en retard sur le premier*.

Suivant que ce retard sera un multiple impair ou pair de la demi-longueur d'onde, les deux rayons réfléchis interféreront ou donneront un redouble-

ment de la couleur ayant la même longueur d'on
Les lames minces permettent donc d'avoir la s
sation des couleurs, quoiqu'elles soient elles-mê
formées d'une substance parfaitement transpare
Les couleurs des lames minces ne prennent d
leurs la forme d'anneaux que par suite de la dis
sition de la lentille au-dessus de la glace de ve
Dans le cas où les deux faces réfléchissantes s
parallèles, on a des franges rectilignes ou
courbées, qui ressemblent aux franges de l'ex
rience des deux miroirs. Si l'épaisseur était rig
reusement constante, on aurait une couleur u
forme.

CHAPITRE VI.

LA PHOTOGRAPHIE DES COULEURS.

Principe de l'expérience de M. Lippmann.

Ces notions nécessaires étant acquises, voici maintenant le principe de l'expérience de M. Lippmann.

Considérons un miroir plan métallique, et supposons que sa face réfléchissante ait été recouverte, par les procédés ordinaires de sensibilisation, d'une couche impressionnable formée d'albumine ou de collodion au chlorure ou bromure d'argent. Supposons en outre que cette couche soit *transparente, continue et sans grains*. Faisons tomber sur elle un rayon d'une lumière quelconque, colorée, ayant une longueur d'onde déterminée, et occupant par conséquent une place déterminée dans le spectre : Les rayons incidents traver-

seront la couche sensible et transparente, se r fléchiront sur la surface polie, et reviendront s leurs pas ; mais ils rencontreront en revenant l rayons qui arrivent. Nous aurons alors deux ond lumineuses : une onde directe et une onde réfl chie, qui vont produire des interférences. L'espa en avant du miroir sera donc rempli de plans p rallèles, alternativement brillants et obscurs, de plans brillants, consécutifs quelconques étant sép rés par une distance égale à une demi-longue d'onde, c'est-à-dire à la *quatre-millième part d'un millimètre.* Il y aura, par conséquent, pl sieurs de ces plans situés dans l'épaisseur même c la couche sensible.

Les plans brillants seuls impressionneront cet couche, et cette impression viendra en noir au d veloppement, tandis que les tranches correspond aux plans obscurs ne seront pas impressionnée Si donc nous mettons la plaque développée da l'hyposulfite de soude, toute la matière sensible la lumière et non altérée va se dissoudre, et il r restera que des tranches infiniment minces d'a gent réduit, là où il y avait les plans brillant Il en résulte que toute l'épaisseur de la couche ph tographique sera partagée en tranches par des pla d'argent métallique, parallèles entre eux et sépar l'un de l'autre par une distance égale à la dem longueur d'onde de la lumière qui a impression la plaque.

Mais deux de ces plans constituent une lame mince, et précisément une lame mince d'épaisseur telle que, d'après la théorie des anneaux de Newton, *les rayons réfléchis sur ses deux faces donnent, en interférant entre eux, la sensation de la couleur correspondante.*

Donc, quand on regardera par réflexion la plaque fixée et séchée, *on verra reproduite la couleur même de la lumière que l'on a fait tomber sur la plaque.*

Choix des plaques sensibles.

Tel est le principe de cette merveilleuse expérience, si simple et si scientifique dans son essence.

Mais cette simplicité de conception exige une grande précision dans la réalisation expérimentale.

Tout d'abord, il faudra exclure les plaques au gélatinobromure ou au gélatinochlorure que l'on trouve dans le commerce, et dont la couche sensible est une émulsion. Vue au microscope, une telle couche présente un *grain* très grossier, provenant des parcelles solides de la matière sensible. Les particules de ce grain ont des dimensions considérables par rapport à la demi-longueur d'onde : elles obstrueraient donc complètement la couche, déformeraient les plans réfléchissants et empêcheraient toute manifestation du phénomène chromatique. Les plaques du commerce sont, en outre,

opaques, et ne seraient pas susceptibles d'être traversées par l'onde directe et l'onde réfléchie, ce qui est un second motif d'exclusion.

Il faudra donc s'adresser de préférence aux couches sensibles de collodion ou d'albumine, qui ont l'avantage d'être continues et transparentes. Ces couches seront préparées par la méthode ordinaire, et ne contiendront pas d'émulsion, mais seront sensibilisées au bain d'argent, comme dans les anciens procédés au collodion. Les couches mixtes d'albumine et de collodion qui constituent le procédé *Taupenot* ont donné d'excellents résultats. M. Lippmann a aussi fait usage de plaques gélatinées, sensibilisées au bain d'argent, comme la glace collodionnée.

En somme, pourvu que la couche n'ait pas de grains, ou du moins, pourvu que son grain soit de dimensions négligeables vis-à-vis de la demi-longueur d'onde, toutes les préparations sensibles pourront être employées.

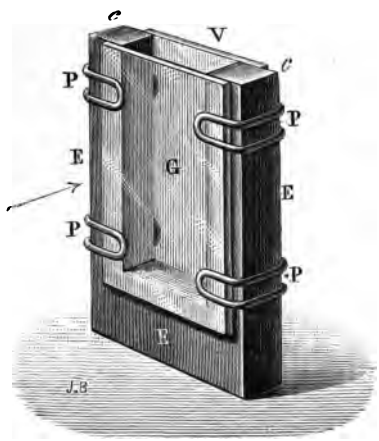
Exposition de la plaque.

Il restait à réaliser la juxtaposition de la couche sensible à un miroir plan.

L'idée qui se présente naturellement à l'esprit est d'argenter une glace à faces parallèles, de polir le dépôt d'argent et d'appliquer directement la couche sensible sur le miroir métallique ainsi obtenu.

Malheureusement cette idée n'est pas utilement réalisable. Quelle que soit la variété des formules d'albumine et de collodion sensibles, elles ont ceci de commun qu'elles contiennent toutes de l'iode

Fig. 11.



libre : il résulte de là que la couche d'argent serait altérée rapidement et ternie par la couche d'iodure d'argent qui se formerait à sa surface.

Voici la disposition ingénieuse à laquelle s'est arrêté M. Lippmann.

Il sensibilise une glace ordinaire, et forme avec cette glace G la paroi antérieure d'une petite auge

rectangulaire (*fig.* 11) dont les parois latérale sont constituées par un cadre d'ébonite E et don le fond est une plaque de verre V. Les deux glace G et V sont serrées contre le cadre par des pince en laiton P, P. On verse alors du mercure dan l'auge. Comme la couche sensibilisée de la glac est tournée vers l'intérieur, elle est directement e contact avec le mercure qui, s'il a été versé à l'aid d'un entonnoir long et fin descendant jusqu'au fon de la petite auge, la remplit sans laisser de bulle d'air et forme, derrière la couche impressionnable un miroir parfait : ce petit appareil, que tout l monde peut facilement construire en quelque instants, réalise pratiquement toutes les condition imposées par la théorie.

Pour faire la mise au point, on saisit l'auge dan un support à pinces, analogue à ceux que l'o trouve dans les laboratoires de Chimie, et que l'o cale contre le fond ouvert d'une chambre photo graphique ordinaire : on met à la place de la glac sensible un petit carreau dépoli dont le côté ma est tourné vers l'intérieur de la petite cuve, et l'o met au point avec la crémaillère dont nous suppo sons la chambre munie. (Toute chambre 13 × 18 des dimensions suffisantes pour cette opération.)

La mise au point étant faite, on desserre le pinces P, on enlève la petite glace dépolie qu'o remplace par la glace sensibilisée ; on installe cett dernière la couche sensible tournée vers l'intérieu

de la cuve ; on fait le remplissage et l'on peut commencer la pose.

La *fig.* 12 représente la façon dont M. le Professeur Lippmann a disposé, dans son laboratoire des Recherches physiques de la Sorbonne, l'expérience

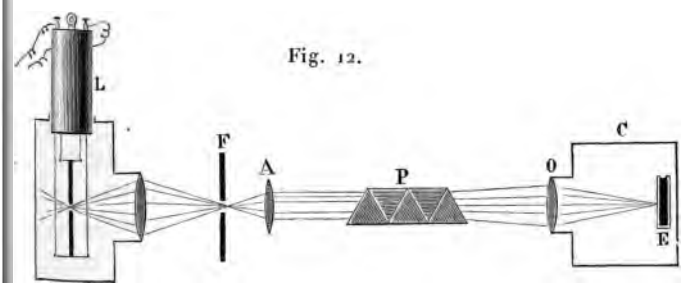


Fig. 12.

de la Photographie des couleurs du spectre. Dans cette figure, L représente la lampe électrique, F une fente sur laquelle la lumière est concentrée à l'aide d'une lentille ; à la suite de cette fente est une seconde lentille qui reprend la lumière et en forme un faisceau parallèle ; P est le prisme à vision directe qui décompose la lumière blanche et produit le spectre ; O est l'objectif de la chambre photographique C, et enfin E représente la cuve à mercure précédemment décrite et supportant la plaque sensibilisée.

Temps de pose. Interposition des écrans colorés.

La question du temps de pose est capitale pour la bonne réussite de l'expérience ; elle exige toujours quelques tâtonnements.

M. Lippmann s'est servi, comme source lumineuse, pour remplacer le soleil, d'une lampe électrique à arc, système Cance, d'une puissance de 800 bougies. Il obtenait ainsi un spectre très brillant.

Ce spectre contient une extrémité rouge qu'il s'agit de photographier. Or on connaît le peu d'activité chimique des rayons rouges : ils impressionnent les plaques assez lentement pour qu'on puisse se servir de lumière rouge pour développer sans danger les glaces au gélatinobromure d'argent. Tous les photographes savent d'ailleurs fort bien que les objets rouges viennent en noir sur les positifs : ils n'ont donc pas impressionné la plaque négative exposée dans la chambre, quelque sensible qu'elle fût.

Aussi, malgré l'éclat du spectre solaire, la pose qui devra reproduire le rouge devra être forcément très longue : elle a varié, suivant que l'on employait du collodion ou de l'albumine, d'une demi-heure à deux heures.

Mais, ici, une difficulté se présente. Si le rouge vient lentement, en revanche le bleu et le violet sont des couleurs actives par excellence, et *solariseront* complètement la plaque si on les laisse poser

pendant tout le temps nécessaire à la bonne impression du rouge. Il faudra donc trouver un moyen de laisser poser le rouge *seul* pendant longtemps, ne permettre au vert, plus actif, qu'une durée d'impression de quelques minutes, que l'on réduira à quelques secondes pour le bleu et le violet.

M. Lippmann est arrivé à ce résultat en interposant sur le trajet du faisceau lumineux, pendant toute la pose du rouge, une petite cuve de glace pleine d'une dissolution d'hélianthine rouge. Cette substance absorbe complètement les radiations vertes, bleues et violettes et ne laisse passer que les rayons rouges et jaunes. On peut donc, grâce à cet écran coloré, laisser poser le rouge pendant tout le temps nécessaire sans risque de solariser les régions verte et bleue.

Quand le rouge a suffisamment posé, on remplace la cuve à hélianthine par une cuve contenant une solution de bichromate de potasse, qui laisse passer le vert et le rouge, mais arrête les rayons bleus : dans ces conditions, on impressionne à loisir la partie de la plaque qui correspond au vert du spectre; le rouge continue à poser pendant ce temps.

Enfin, pour obtenir le bleu, on découvre complètement l'objectif pendant quelques secondes, sans interposition d'aucune cuve; le bleu et le violet agissent à leur tour, et l'exposition est terminée.

Développement.

Si l'on a employé une glace albuminée, on peut la développer, comme on sait, par deux procédés distincts : par un développement acide ou un développement alcalin.

Si l'on emploie le développement acide (acide gallique, par exemple), il faudra poser un peu plus longtemps, et pousser le développement à fond; si l'on se sert du développement alcalin, il sera préférable de poser un peu moins longtemps, à cause de la plus grande activité du développement.

Dans tous les cas, l'opération devra être conduite avec l'idée que l'on doit produire de l'argent réfléchissant dans l'épaisseur même de la plaque. Si l'on juge l'épreuve insuffisante, on peut, avant le fixage, la renforcer à l'acide. Il faut éviter toutefois de trop insister sur ce renforçage, à cause des *empâtements* qui pourraient se produire dans la couche et masquer les phénomènes de réflexion métallique sur les lames d'argent destinées à reproduire les couleurs.

Fixage. Apparition des couleurs.

Le fixateur employé a toujours été l'hyposulfite de soude à la dose de 150^{gr} par litre. Le fixage est

très rapide à cause du peu d'épaisseur des couches de collodion ou d'albumine employées.

Pendant le développement et le fixage, les couleurs ne sont pas visibles; mais elles commencent à apparaître au séchage, les couches d'argent se plaçant alors à la distance qu'elles avaient lorsqu'elles ont été produites par l'action des interférences de la lumière sur la plaque sensible qui était sèche lors de son exposition.

Pour les voir dans les conditions les plus avantageuses, il faut regarder par réflexion la glace *éclairée par de la lumière diffuse;* soit celle du jour, soit celle qui provient de la face interne d'un abat-jour blanc. En aucun cas, on ne doit, si l'on veut jouir de la vue complète du phénomène, regarder la plaque éclairée directement par une source lumineuse.

Les couleurs ont un aspect dont on ne peut se faire une idée si on ne les a pas vues : elles ont une sorte d'éclat métallique qui leur donne une vivacité extraordinaire. Il est presque inutile d'insister sur l'inaltérabilité absolue de l'épreuve ainsi obtenue : la couleur, en effet, n'y est pas produite par un pigment quelconque susceptible de s'altérer à la lumière : elle résulte de la réalisation d'une propriété mécanique du mouvement vibratoire qui constitue la lumière. Cette inaltérabilité est telle que l'on peut projeter sur un écran les images de ces spectres vivement éclairés par une lumière élec-

trique intense sans altérer leurs couleurs en quoi que ce soit.

La réussite de ces épreuves démontre même d'une façon irréfutable la délicatesse de l'impression photographique; au moment de l'impression, la glace est sèche, et le support de gélatine, d'albumine ou de collodion a une certaine consistance, bien déterminée dans chaque cas. Pendant les opérations du développement, du fixage et du lavage, la couche est plongée dans des bains de nature diverse, qui la gonflent et modifient sa structure, laquelle ne redevient normale qu'après le séchage. Puisque, dans ces conditions, les couleurs viennent à leurs places respectives, cela prouve que les plans d'argent réfléchissants sont revenus rigoureusement à leur place; et comme la distance de deux de ces plans est, en moyenne, d'un quatre-millième de millimètre, on peut juger par là de la précision vraiment surprenante réalisée par la Photographie.

Reproduction des couleurs complexes.

L'expérience de la Photographie des couleurs du spectre est décisive, car, comme toutes les teintes simples s'y trouvent, le problème de la reproduction d'une couleur simple quelconque est résolu d'une façon définitive.

On peut se demander ce qu'il adviendra quand

on voudra reproduire une couleur complexe, comme celles des objets naturels?

On peut prévoir *à priori* que le problème soit résoluble de la même manière, car si l'on étudie algébriquement les propriétés d'un mouvement vibratoire, on peut, en appliquant un remarquable théorème dû à Fourier, démontrer que les mouvements périodiques peuvent se superposer en donnant naissance à un mouvement périodique unique.

M. Lippmann a fait poser devant son appareil deux verres de couleurs, l'un bleu et l'autre vert, éclairés par transparence à l'aide de la lumière électrique. Ces verres, provenant des ateliers de vitraux de M. Ch. Champigneulle, y avaient été pris au hasard et étaient loin d'être des couleurs simples, puisque, vus au spectroscope, ils laissaient passer sensiblement toutes les couleurs, en proportions variables : ils contenaient donc toutes les longueurs d'onde, et réalisaient à merveille deux couleurs complexes.

L'épreuve obtenue a été très satisfaisante et a rendu les deux couleurs d'une manière très nette. On peut donc affirmer que la solution trouvée par M. Lippmann est absolument générale et s'applique à tous les cas.

Les applications.

Que reste-t-il à faire pour rendre *absolument usuel* le procédé photochromique de M. Lippmann?

Disposer des appareils permettant l'exposition facile, dans la chambre noire, de plaques de grandes dimensions : c'est là une question matérielle qui n'embarrassera aucun de nos habiles constructeurs. Trouver des substances plus sensibles que celles connues jusqu'ici, et qui permettent par conséquent de réduire dans de grandes proportions les durées de pose, surtout pour le rouge : c'est une question difficile à résoudre, mais le problème n'est pas insoluble. Il suffit de se reporter à l'histoire de la Photographie ordinaire pour voir une véritable révolution opérée par le gélatinobromure, qui permet d'obtenir en un centième de seconde le cliché qui aurait demandé, avec le collodion sec, dix minutes d'exposition : c'est donc une augmentation de sensibilité dans le rapport de 60000 à 1.

D'ailleurs, il faut bien remarquer que, même avec les plaques albuminées ou collodionnées employées par M. Lippmann, la venue du rouge exige seule des temps de pose aussi longs ; les autres parties du spectre viennent en quelques minutes : le violet et le bleu même, en quelques secondes. Quelques plaques employées dans des essais ré-

cents, ont permis de réduire à cinq minutes la pose du rouge : ce sont presque là des temps de pose normaux.

Du reste, la sensibilité, si grande en apparence, du gélatinobromure d'argent, n'existe que pour les objets bleus ou violets : *la Photographie ordinaire ne rend que les parties bleues et violettes* des objets qu'elle reproduit. L'expérience journalière est là pour le prouver : les arbres viennent toujours, dans tous les clichés ordinaires, en noir sombre, ainsi que les prairies; les jaunes, qui sont pourtant des teintes claires dans la nature, viennent en noir; les rouges, les vermillons, quelque écarlates qu'ils soient, donnent toujours des images sombres, absolument comme s'ils étaient noirs. Au contraire, les couleurs violettes et bleues, naturellement foncées, sombres et peu visibles, impressionnent vigoureusement les plaques, et produisent, sur les clichés, des parties blanches qui donnent une sensation contraire à celle de l'objet.

Est-ce à dire que le gélatinobromure soit impuissant à s'impressionner sous l'action unique des rayons rouges? Non. Il est toujours possible, étant donné un objet rouge écarlate sur fond noir, d'obtenir de cet objet, comme cela est rationnel, une épreuve claire sur fond foncé; mais il faudra pour cela des poses de plusieurs heures, pendant lesquelles la plaque devra être protégée contre la lumière diffuse actinique contenant des rayons bleus.

C'est dans cet ordre d'idées que M. Lippmann avait publié, dès 1889, un procédé de *Photographie orthochromatique* dont les épreuves ont figuré à l'Exposition de 1889 dans les vitrines du Ministère de l'Instruction publique. Ce procédé consiste à diviser le temps de pose en trois périodes; pendant la première, on n'impressionne la plaque qu'avec les rayons violets et bleus de l'objet à reproduire: quelques secondes suffisent, en interposant un verre bleu en avant de l'objectif. Pendant la seconde période, on met en avant de l'objectif un verre *vert,* arrêtant les rayons bleus; il est nécessaire d'accorder plusieurs minutes à cette pose du vert, en faisant varier naturellement la durée d'exposition suivant l'éclat de l'objet. Enfin, dans la troisième et dernière période, l'objectif étant couvert d'un verre rouge arrêtant complètement les rayons bleus et verts, on impressionne la plaque par les parties rouges de l'objet; mais cette dernière phase est très longue; plusieurs heures sont souvent nécessaires pour obtenir une épreuve suffisante. On voit donc, par cet exemple, que la Photographie des couleurs n'est pas plus lente que la Photographie ordinaire, quand on demande à celle-ci d'être fidèle, c'est-à-dire de reproduire *en clair* les parties claires de l'objet, y compris celles qui sont rouges.

On peut dire que dès à présent la méthode de M. Lippmann permet les reproductions de vitraux

et d'objets très éclairés avec une durée de pose qui n'a rien d'exagéré.

Naturellement, toutes les épreuves obtenues sont sur verre; mais on conçoit facilement la possibilité de détacher la couche de gélatine et de la *transporter* sur papier. Ce transport est aujourd'hui chose familière aux photographes, et n'offrira aucune difficulté pratique à des mains exercées.

Cause de l'insuccès des recherches anciennes.

Maintenant que M. Lippmann a fait connaître la théorie de la reproduction photographique des couleurs, il est facile d'expliquer pourquoi la remarquable expérience de M. Edmond Becquerel n'a pas donné de résultats définitifs; en un mot, pourquoi l'épreuve du spectre qu'il avait obtenue n'était pas susceptible d'être fixée.

Ce savant avait constitué sa couche sensible par une couche de sous-chlorure d'argent violet, étendue sur la face polie d'une lame réfléchissante de plaqué d'argent. Dans ces conditions, les plans nodaux et les plans ventraux, qui sont l'organe même de la reproduction physique des couleurs, se produisaient dans l'épaisseur de cette couche, et l'œil avait bien la sensation des couleurs spectrales. Mais, si l'on place la plaque impressionnée dans l'hyposulfite de soude, destiné à fixer l'image obtenue, les parties comprises entre les plans ven-

traux qui étaient seuls actifs, seront dissoutes. Comme ces particules constituaient le seul support qui maintient les plans réfléchissants à la distance d'une demi-longueur d'onde, ce support venant à manquer, les plans réfléchissants s'effondraient les uns sur les autres, et toute coloration devait disparaître : c'est ce qui arrivait. Si maintenant, au lieu de fixer la plaque, on l'expose de nouveau à la lumière du jour, celle-ci agira sur les parties encore sensibles qui sont situées dans l'intervalle des plans ventraux et les impressionnera à leur tour : toute la matière sera donc altérée d'une façon uniforme et l'image disparaît encore.

Dans l'expérience de M. Lippmann, au contraire, la matière sensible est impresionnée dans la masse d'une substance transparente : collodion, gélatine, albumine, qui lui sert de support. Cette substance n'est point dissoute par le fixatif qui ne dissout que le chlorure non impressionné qu'elle emprisonne : elle sert donc de charpente à l'édifice des plans parallèles réfléchissants, pour maintenir invariable la distance qui les sépare et qui est nécessaire à la production des couleurs par les interférences.

CONCLUSION.

On peut dire que maintenant la Photographie a franchi la dernière étape qui lui restât à fournir : la solution générale du seul problème qui fût encore à résoudre est trouvée et elle est définitive parce qu'elle est scientifique et rationnelle. Rien dans ces recherches, poursuivies pendant trois années, n'a été laissé au hasard : tout, au contraire, a été cherché dans la voie de l'expérience par une méthode essentiellement physique. Aussi le succès éclatant obtenu par M. Lippmann est-il un triomphe pour la Science pure.

C'est aussi un triomphe pour la Science française, car ce mode de reproduction des couleurs du spectre à l'aide des lames minces limitées par des plans d'argent constitue une matérialisation, réalisée par un savant français, de ces ondes lumineuses conçues pour la première fois par le puissant génie d'un autre Français illustre : j'ai nommé Augustin Fresnel.

FIN.

TABLE DES MATIÈRES

Pages.

AVANT-PROPOS v

CHAPITRE I.

Un mot d'historique.

CHAPITRE II.

Les ondulations.

Vitesse de propagation 5
Mouvements vibratoires 7
Longueur d'onde. Durée de la vibration 8
Ondes sonores 9

CHAPITRE III.

Les interférences.

Réflexion du mouvement ondulatoire 12
Interférence de l'onde directe et de l'onde réfléchie 14

CHAPITRE IV.

Les ondes lumineuses.

L'éther lumineux 17
Vitesse de la lumière 18
Lumière blanche. Couleurs simples 19

Pages.
Couleurs complémentaires 21
Théorie de Fresnel 21
Les couleurs complexes 24
Coloration des corps 26

CHAPITRE V.

Interférences de la lumière.

Expérience des deux miroirs 27
Interférence dans la réflexion normale 29
Anneaux colorés de Newton 30
Lois du phénomène 33
Théorie des anneaux de Newton 34

CHAPITRE VI.

La Photographie des couleurs.

Principe de l'expérience de M. Lippmann 37
Choix des plaques sensibles 39
Exposition de la plaque 40
Temps de pose. Interposition des écrans colorés 44
Développement 46
Fixage. Apparition des couleurs 46
Reproduction des couleurs complexes 48
Les applications 50
Causes de l'insuccès des recherches anciennes 53

CONCLUSION 55

FIN DE LA TABLE DES MATIÈRES.

Paris. — Imp. Gauthier-Villars et fils, 55, quai des Grands-Augustins.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS ET FILS,

Quai des Grands-Augustins, 55. — Paris.

(Envoi franco contre mandat de poste ou valeur sur Paris.)

EXTRAIT DU CATALOGUE DE PHOTOGRAPHIE.

Agle. — *Manuel pratique de Photographie instantanée.* In-18 jésus, avec nombreuses figures dans le texte. 2e tirage; 1891. 2 fr. 75 c.

Aide-Mémoire de Photographie pour 1891, publié sous les auspices de la Société photographique de Toulouse, par C. Fabre. Seizième année, contenant de nombreux renseignements sur les procédés rapides à employer pour portraits dans l'atelier, les émulsions au coton-poudre, à la gélatine, etc. In-18, avec figures et spécimen.

Broché..... 1 fr. 75 c. | Cartonné... 2 fr. 25 c.

Les volumes des années précédentes, sauf 1877, 1878, 1879, 1880, 1883, 1884, 1885 *et* 1886, *se vendent aux mêmes prix.*

Balagny (George), Membre de la Société française de Photographie, Docteur en droit. — *Traité de Photographie par les procédés pelliculaires.* Deux volumes grand in-8, avec figures; 1889-1890.

On vend séparément :

Tome I : Généralités. Plaques souples. Théorie et pratique des trois développements au fer, à l'acide pyrogallique et à l'hydroquinone. 4 fr.

Tome II : Papiers pelliculaires. Applications générales des procédés pelliculaires. Phototypie, Contre-Types, Transparents. 4 fr.

Balagny (George). — *L'Hydroquinone.* Nouvelle méthode de développement. Second tirage. In-18 jésus : 1890. 1 fr.

Chable (E.), président du Photo-Club de Neuchâtel. — *Les travaux de l'amateur photographe en hiver.* In-18 jésus, avec 2 planches phototypiques, une planche photozincographique et nombreuses vignettes; 1891. 3 fr.

Chapel d'Espinassoux (Gabriel de). — *Traité pratique de la détermination du temps de pose.* Grand in-8, avec nombreuses Tables; 1890. 3 fr. 50 c.

Colson (R.). — *La Photographie sans objectif.* In-18 jésus, avec planche spécimen; 1887. 1 fr. 75 c.

Colson (R.). — *Procédés de reproduction des dessins par la lumière.* In-18 jésus; 1888. 1 fr.

Davanne. — *La Photographie. Traité théorique et pratique.* 2 beaux volumes grand in-8, avec 234 figures et 4 planches spécimens. 32 fr.

On vend séparément :

Ire Partie : Notions élémentaires. — Historique. — Épreuves

LIBRAIRIE DE GAUTHIER-VILLARS ET FILS,

Quai des Grands-Augustins, 55. — Paris.

Envoi franco contre mandat-poste ou valeur sur Paris.

Chappuis (J.), Agrégé, Docteur ès Sciences, Professeur de Physique générale à l'École Centrale, et **Berget** (A.), Docteur ès Sciences, attaché au laboratoire des Recherches physiques de la Sorbonne. — *Leçons de Physique générale*. Cours professé à l'École Centrale des Arts et Manufactures et conforme suivant le programme de la Licence ès sciences physiques. 3 volumes grand in-8, se vendant séparément :

Tome I. — *Instruments de mesure. Chaleur*. Avec 175 figures dans le texte; 1891. 13 fr.

Tome II. — *Électricité et Magnétisme*. Avec 305 figures dans le texte; 1891. 13 fr.

Tome III. — *Acoustique. Optique*. Avec figures dans le texte. (Sous presse.)

Fabre (C.), Docteur ès sciences. — *Traité encyclopédique de Photographie*. 4 beaux volumes gr. in-8, avec plus de 700 figures et une planche; 1889-1891. 48 fr.

Chaque volume se vend séparément 14 fr.

Londe (A.), Chef du service photographique à la Salpêtrière. — *Traité pratique du développement*. Étude raisonnée des divers révélateurs et de leur mode d'emploi. In-18 jésus, avec figures et 5 doubles planches en photocollographie; 1889. 2 fr. 75 c.

Londe (A.). — *La Photographie instantanée*. 2e édition. In-18 jésus, avec belles figures dans le texte; 1890. 2 fr. 75 c.

Panajou, Chef du Service photographique à la Faculté de Médecine de Bordeaux. — *Manuel du Photographe amateur*. Petit in-8, avec figures; 1891. 3 fr. 50 c.

Soret (A.), Professeur de Physique au lycée du Havre. — *Optique photographique*. Notions nécessaires aux photographes amateurs. Étude de l'objectif. Applications. In-18 jésus, avec nombreuses figures dans le texte; 1891. 3 fr.

Trutat (E.). — *Traité pratique des agrandissements photographiques*. 2 vol. in-18 jésus, avec nombreuses figures dans le texte; 1891.

Ire Partie : Obtention des petits clichés. 2 fr. 75 c.

IIe Partie : Agrandissements. 2 fr. 75 c.

Vidal Léon. — *Manuel de l'Orthochromatisme*. In-18 jésus, avec figures dans le texte et 1 pl. en photocollographie. 2 fr. 75 c.

Vieuille (G.). — *Nouveau guide pratique du photographe amateur*. 2e édition, entièrement refondue. In-18 jésus; 1889. 2 fr. 75 c.

Wallon (E.), Professeur de Physique au lycée Janson de Sailly. — *Traité élémentaire de l'objectif photographique*. Grand in-8, avec nombreuses figures; 1891. 7 fr. 50 c.

Paris. — Imp. Gauthier-Villars et fils, 55, quai des Grands-Augustins.